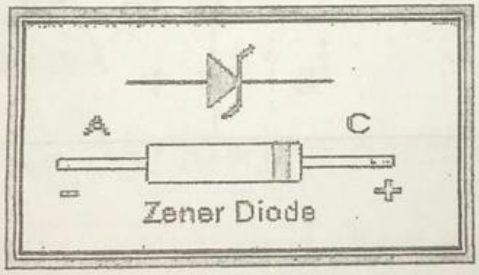
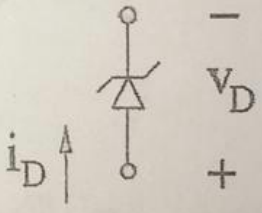
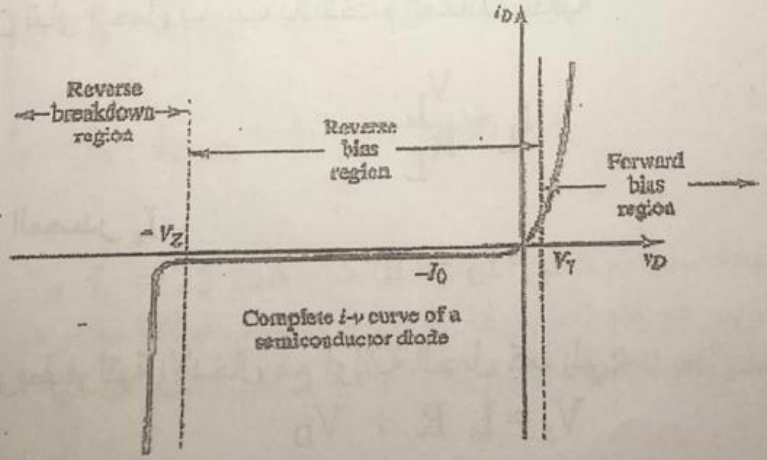
ثنائي الزينر Zener Diode

ان ثنائي الزينر يستخدم بصورة شائعة وياتي بالمرتبة الثانية بعد الثنائي المقوم وقد صمم ليعمل في منطقة الانكسار لذلك فهو يسمى احيانا بثنائي الانكسار break down diode ويعتبر العمود الفقري لمنظمات الفولتية.

في ثنائي الاغراض العامة تطعم المادة نوع p والمادة نوع n كلاهما بصورة خفيفة بحيث تكون النتيجة ان فولتية الانكسار العكسية ذات قيمة عالية، بينما في ثنائي الزينر تطعم المادة نوع p والمادة نوع n بصورة مركزة ويؤدي التطعيم المركز هذا الى قيمة صغيرة في فولتية الانكسار العكسية التي تسمى الآن بفولتية الزينر zener voltage . ويمكن انتاج ثنائيات زينر (بواسطة تغيير مستوى التطعيم) ذات فولتيات انكسار تتراوح من 2V الى 200 V وعند تسليط فولتيات عكسية تجتاز فولتية الانكسار الزينر نحصل على مكون يعمل عمل مصدر فولتية ثابتة.





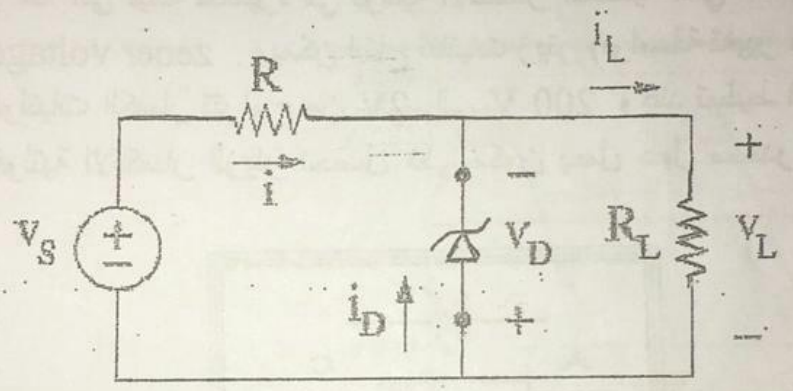


ان تبديد القدرة power dissipation في ثنائي الزينر

$$P_D = V_D\ I_D$$

$$I_{Dmax} = \frac{P_{Dmax}}{V_D}$$

ان التطبيق المبدئي لثنائي الزينر هو في استخدامه كمنظم للفولتية voltage regulator . في منظم الفولتية تحتفظ الفولتية عبر الحمل بقيمة ثابتة على مدى تيارات متغيرة.



ان تيار الحمل يحسب باستخدام المعادلة التالية

$$I_L = \frac{V_L}{R_L}$$

وتيار المصدر I_s

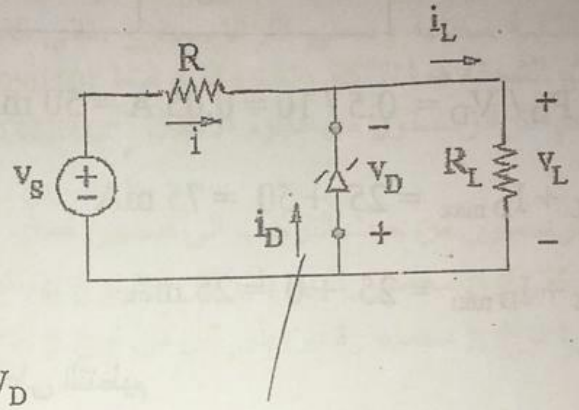
$$I_s = I_D + I_L$$

ويمكن ربط فولتية الادخال مع فولتية الحمل كما يلي:-

$$V_s = I_s\ R + V_D$$

مثال:-

في دائرة تنظيم الفولتية باستخدام ثنائي الزينر، اذا كان $V_s = 12.5$ V و $R = 50\ \Omega$ و ثنائي الزينر ذو قدرة مقدارها 0.5 W ويتحمل فولتية مقدارها 10 V . فوق أي مدى لتيار الحمل (I_L) نحصل على تنظيم الفولتية.



$$V_s = I_s R + V_D$$
$$12.5 = I_s (50) + 10$$
$$12.5 - 10 = I_s (50)$$
$$I_s = 0.05 \text{ A} = 50 \text{ mA}$$

$$I_{D\,max} = P_D / V_D = 0.5 / 10 = 0.05 \text{ A} = 50 \text{ mA}$$

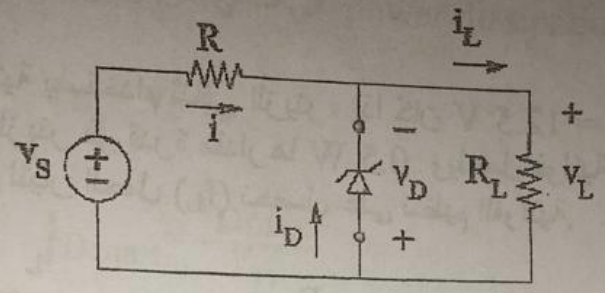
مدى تيار الحمل الذي تنظم فيه فولتية الحمل عند (10 V) هو

$$I_L = I_s - I_{D\,max} = 50 - 50 = 0 \text{ mA}$$

$$I_L = I_s - I_{D\,min} = 50 - 0 = 50 \text{ mA}$$

مثال:-

في دائرة تنظيم الفولتية باستخدام ثنائي الزينر، اذا كان $I_L = 25$ mA و $R = 50\ \Omega$ و ثنائي الزينر ذو قدرة مقدارها 0.5 W ويتحمل فولتية مقدارها 10 V . فوق أي مدي لفولتية المصدر(V_s) نحصل على تنظيم الفولتية.



$I_{D\,max} = P_D / V_D = 0.5 / 10 = 0.05\ A = 50\ mA$

$I_{s\,max} = I_L + I_{D\,max} = 25 + 50 = 75\ mA$

$I_{s\,min} = I_L + I_{D\,min} = 25 + 0 = 25\ mA$

أعظم فولتية ل V_1 تحافظ على التنظيم

$V_{smax} = I_{s\,max} R + V_D$

$= 0.075 \times 50 + 10 = 13.75\ V$

أقل فولتية ل V_1 تحافظ على التنظيم

$V_{smin} = I_{s\,min} R + V_D$

$= 0.025 \times 50 + 10 = 11.25\ V$

ترانزستورات ثنائية القطبية
Bipolar Junction Transistors

يتألف الترانزستور من ثلاث مناطق لمادة شبه موصلة منطقتين من نوع واحد والمنطقة الثالثة مختلفة ويسمى الترانزستور ثنائي القطبية لاحتوائه على نوعين من حاملات الشحنة هما الالكترونات والفجوات(bipolar junction transistor) وقد اتى اسم الترانزستور من مقاوم الانتقال transfer resistor .

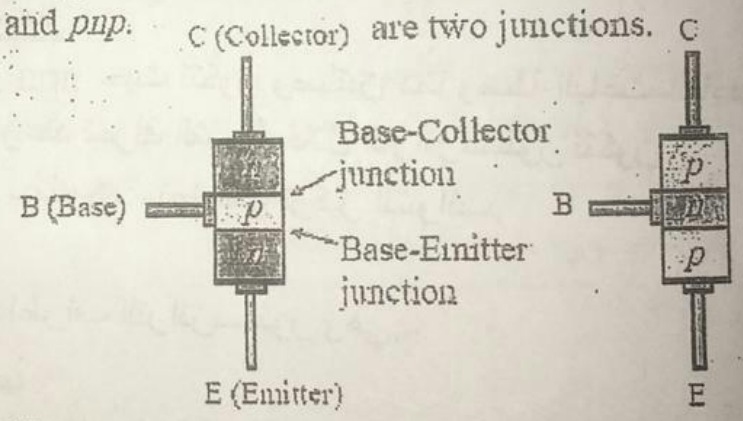
يقسم الترانزستور من حيث التركيب الى قسمين هما:-

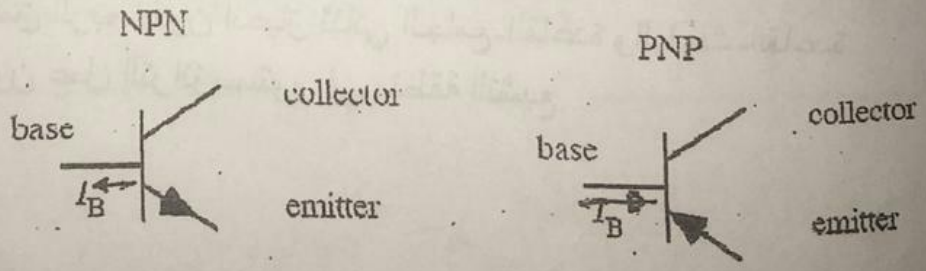
1- بلورة نوع p محصورة بين بلورتين من نوع n ينتج ترانزستور نوع npn .

2- بلورة نوع n محصورة بين بلورتين من نوع p ينتج ترانزستور نوع pnp .

There are two types of BJTs – *npn* and *pnp*.

Separating the regions are two junctions.





تكمن اهمية الترانزستور بانه يعمل اما كمفتاح يفتح و يغلق الدائرة الكهربائية او كمكبر للتيار او الجهد او القدرة ويتالف من المناطق التالية:-

1- القاعدة Base ويرمز له بالرمز B .

وتتمثل بالمنطقة الوسطى للترانزستور وتكون اصغر المناطق حجما واقلها تركيزا بالشوائب وتقوم بعملية السيطرة على تمرير الالكترونات القادمة من الباعث.

2- الباعث Emitter ويرمز له بالرمز E .

وهي منطقة متوسطة الحجم بين مناطق الترانزستور وذات تركيز شوائب عالي جدا وتقوم بعملية بعث حاملات الشحنة الى القاعدة.

3- الجامع Collector ويرمز له بالرمز C .

وهو اكبر المناطق حجما بالترانزستور وذات تركيز شوائب متوسط بين القاعدة والباعث ويعزى سبب كبر حجمه لتشتيت الحرارة المتولدة بوصلة الجامع-القاعدة.

الترانزستور غير المنحاز

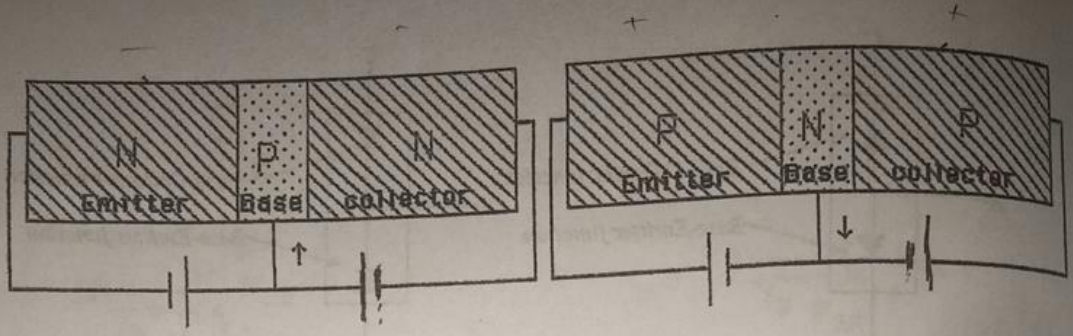
لناخذ مثلا ترانزستور npn حيث تتكون وصلتين هما وصلة الباعث-القاعدة ووصلة الجامع-القاعدة وعند تحرك الشحنة خلال الترانزستور تتكون منطقتي استنزاف يعتمد سمك كلا منها على تركيز الشوائب.

انحياز الترانزستور

هنالك ثلاث طرق لربط اطراف الترانزستور وهي:-

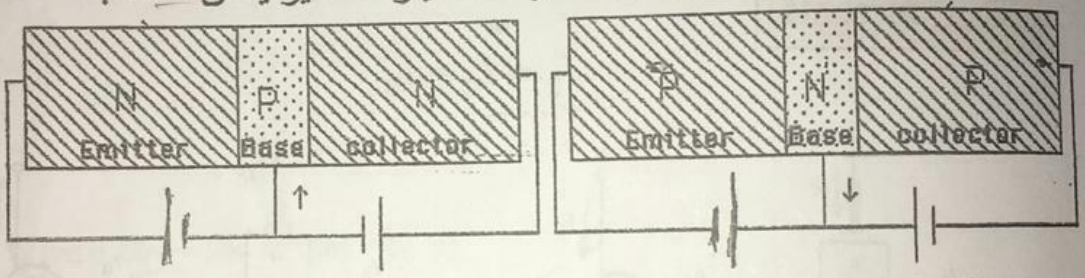
1- انحياز امامي – امامي

هذا النوع من الربط يكون انحياز ثنائي الجامع-القاعدة والباعث-القاعدة اماميا ويكون عمل الترانزستور في منطقة التشبع.



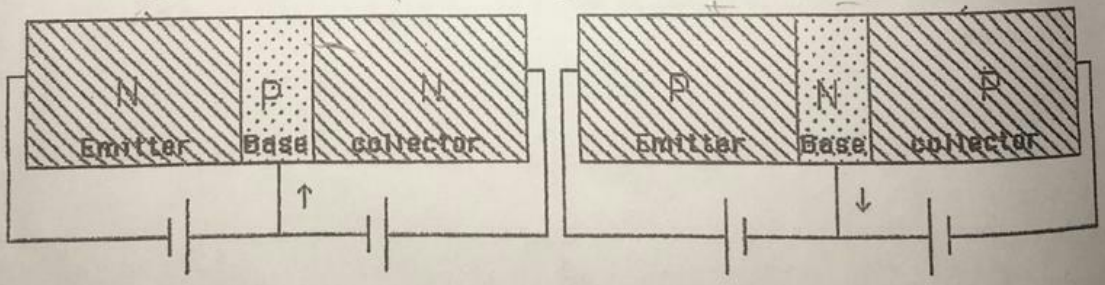
2- انحياز عكسي – عكسي

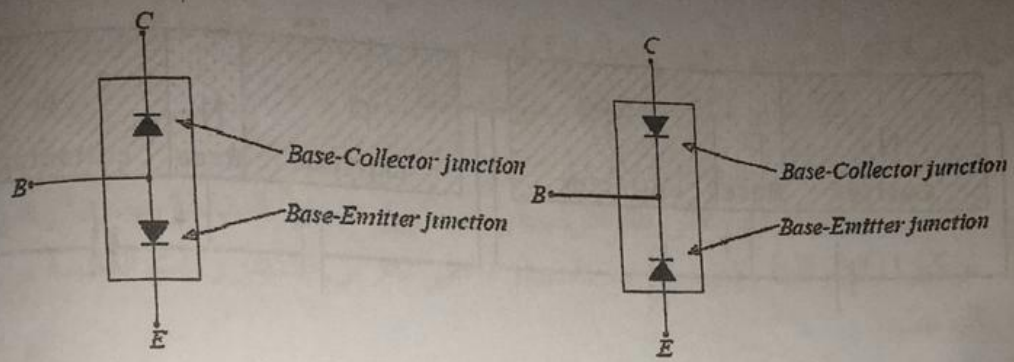
هذا النوع من الربط يكون انحياز ثنائي الجامع-القاعدة والباعث-القاعدة عكسيا وفي هذا النوع يسري تيار صغير وهو عبارة عن تيار التشبع العكسي والناتج حراريا ون مقدار هذا التيار الصغير يمكن اهماله.



3- انحياز امامي - عكسي

هذا النوع من الربط يكون انحياز ثنائي الجامع-القاعدة عكسيا والباعث-القاعدة اماميا ويعتبر هذا النوع من الربط افضل انواع تحييز الترانزستور حيث بصورة طبيعية بعملية التكبير.

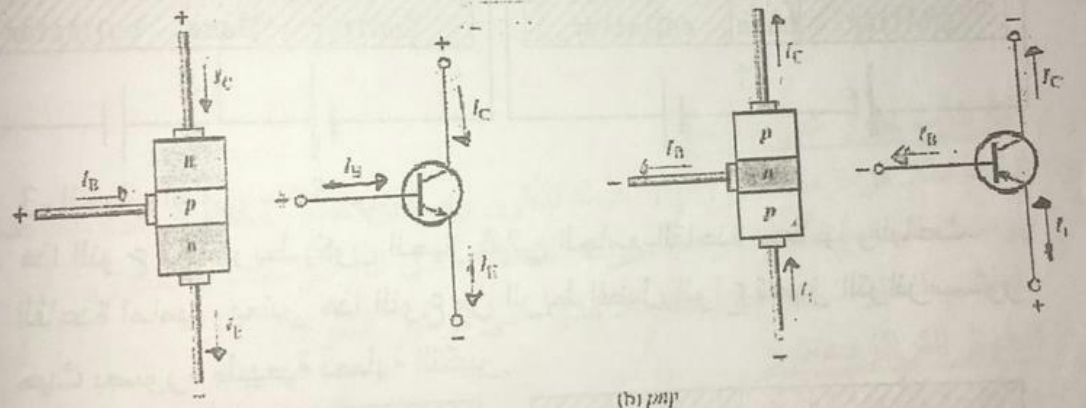


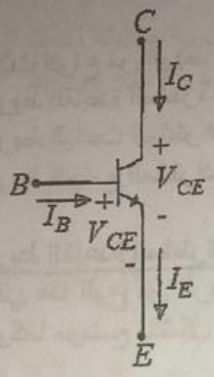


npn pnp

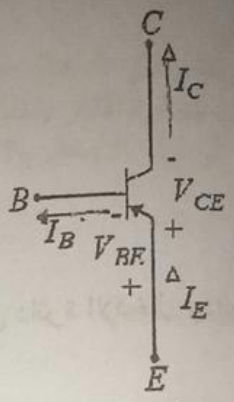
BJT currents

$$I_E = I_C + I_B$$





(a) *npn* transistor



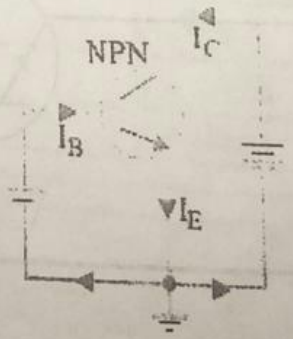
(b) *pnp* transistor

$$I_E = I_C + I_B$$

$$I_C = \alpha_{DC} I_E$$

Where α_{DC} (dc alpha) = I_C / I_E

حيث α_{DC} هي النسبة بين تيار الاخراج الى تيار الادخال وكلما كانت القاعدة ذات سمك رقيق وتطعيم قليل كانت α_{DC} اكبر بحيث تعبر جميع الالكترونات من الباعث الى منطقة الجامع وبهذه الحالة تقترب α_{DC} الى الواحد . وان $I_C \approx I_E$



انواع ربط الترانزستور

توجد ثلاث انواع من الربط

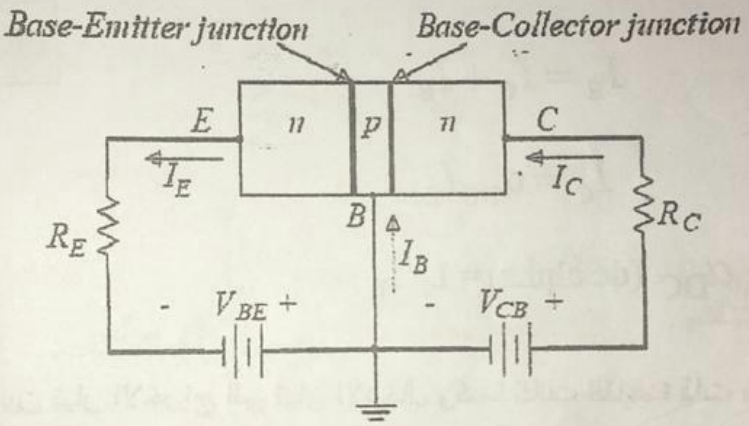
1- ربط القاعدة المشتركة common base

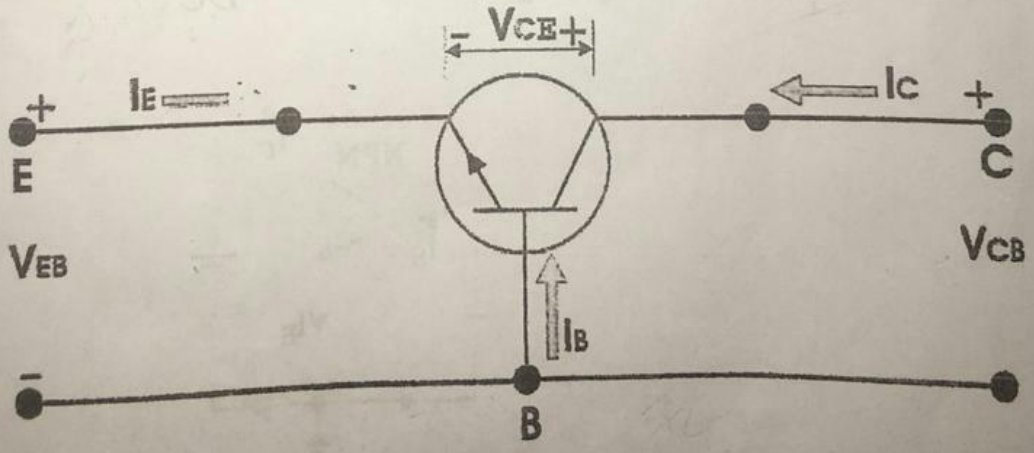
2- ربط الباعث المشترك common emitter .

3- ربط الجامع المشترك common collector .

1- ربط القاعدة المشتركة common base

في هذا الوع من الربط يكون طرف القاعدة مشترك بين دائرة الادخال ودائرة الاخراج وكما موضح بالشكل التالي:-





ان معظم تيار الباعث سوف يصل الى منطقة الجامع عدا نسبة ضئيلة تصل الى 5% بسبب خسارة التيار بمنطقة القاعدة ويمكن حساب التيار بحساب النسبة بين تيار الاخراج I_C الى تيار الادخال I_E وكما يلي:-

$$\alpha_{DC} = \frac{I_C}{I_E}$$

معادلة الادخال

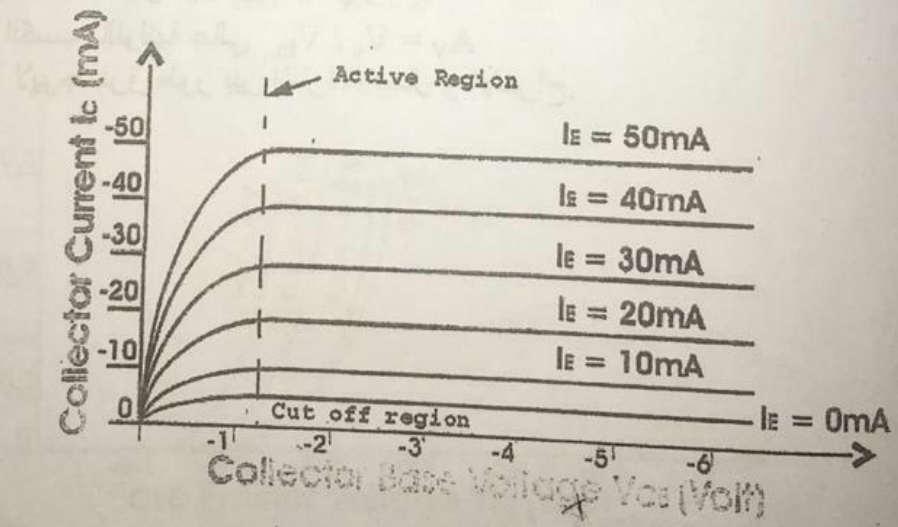
$$V_{EE} = I_E R_E + V_{EB}$$

ويمكن كتابة معادلة الاخراج من دائرة الاخراج

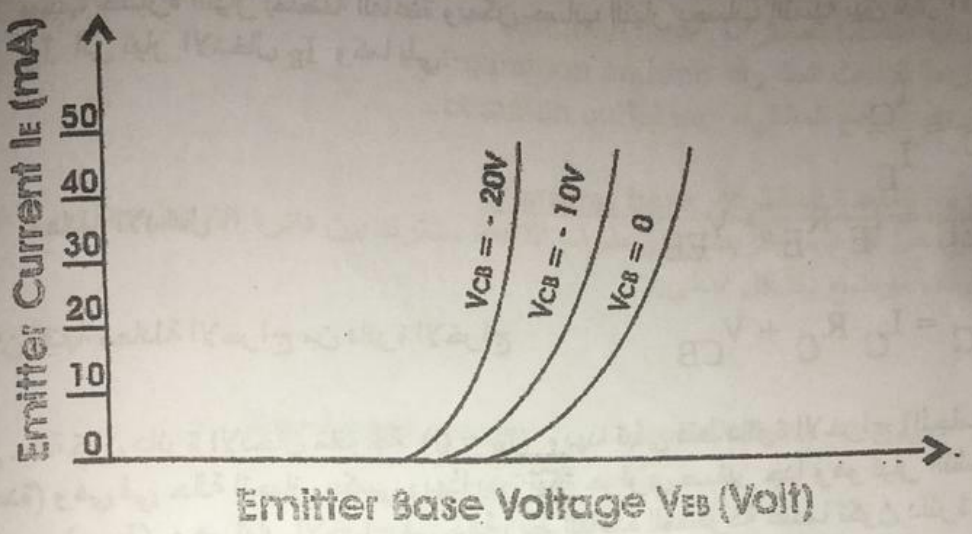
$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CB}$$

وفي حالة كون دائرة الادخال مفتوحة $(I_E = 0)$ وبهذا تبقى فقط دائرة الاخراج (الجامع – القاعدة) وهي في حالة انحياز عكسي وبهذا يمر تيار حراري صغير جدا وهو تيار التشبع العكسي (I_{CB0}) وهو تيار الاخراج في حالة ربط القاعدة المشتركة عندما تكون دائرة الادخال مفتوحة.

يمكن رسم مميزات الاخراج لربط القاعدة المشتركة والتي تمثل العلاقة بين تيار الاخراج I_C و V_{CB} لقيم ثابت من تيار الادخال I_E .



وتكون مميزات دائرة الادخال مشابهة الى مميزات الثنائي البلوري بانحياز امامي وهي تمثل العلاقة بين تيار الادخال I_E وجهد الادخال V_{EB} لقيم ثابتة للجهد V_{CB} .

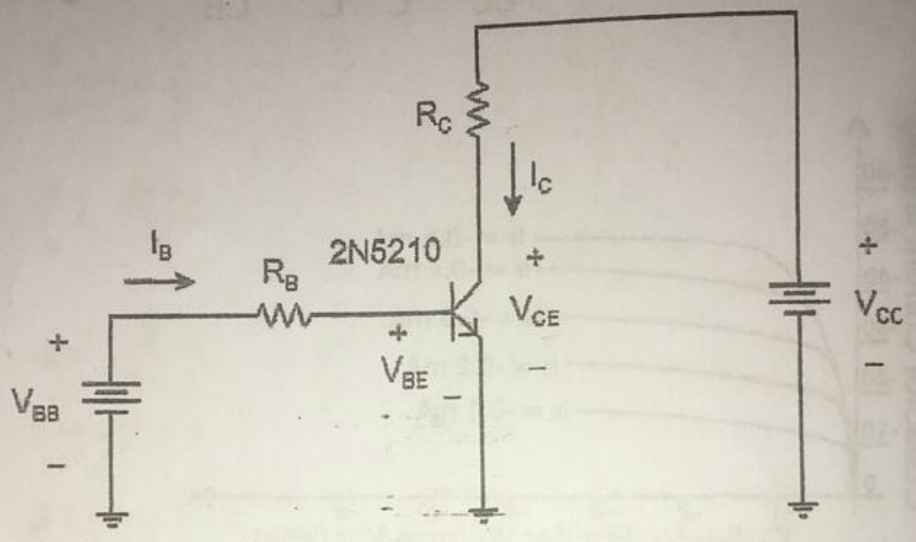


خوص ربط القاعدة المشتركة:-

1- مقاومة الادخال قليلة (انحياز امامي).
2- مقاومة الاخراج عالية (انحياز عكسي).
3- الكسب بالتيار قليل α اقل من واحد.
4- الكسب بالفولتية عالي $A_V = V_o / V_{in}$
5- لايوجد فرق طور بين اشارة الادخال و الاخراج.

2- ربط الباعث المشترك Common Emitter

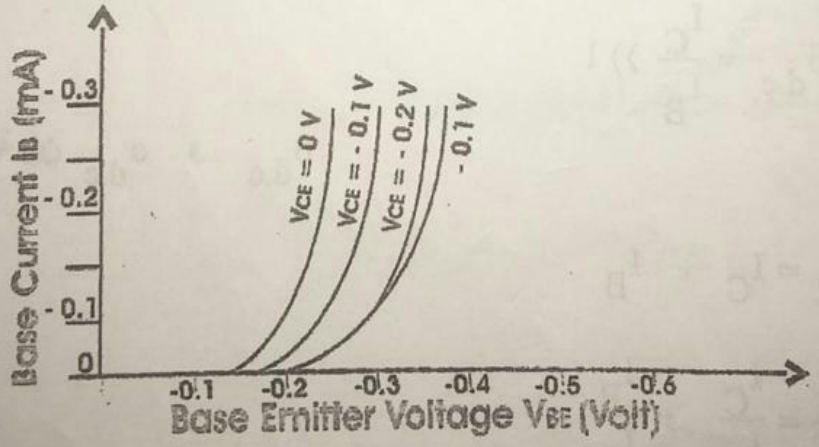
في هذا النوع من الربط يكون طرف الباعث مشترك بين دائرة الادخال ودائرة الاخراج وكما موضح في الشكل التالي:-



ان منحنى الادخال لربط الباعث المشترك يمثل العلاقة بين تيار الادخال I_B وفولتية الادخال V_{BE} لقيم ثابتة من جهد الاخراج V_{CE}.

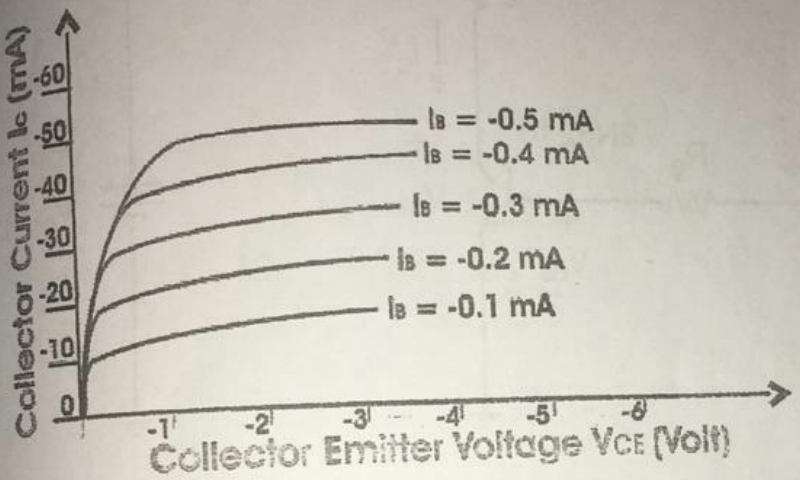
معادلة الادخال للدائرة

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE}$$



اما منحنى الاخراج لربط الباعث المشترك فهو يمثل العلاقة بين تيار الاخراج I_C وفولتية الاخراج V_{CE} لقيم ثابتة من تيار الادخال I_B .

معادلة الاخراج $V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$



بيتا التيار المستمر $\beta_{d.c}$

وهو النسبة بين تيار الاخراج I_C الى تيار الادخال I_B .

$$\beta_{d.c} = \frac{I_C}{I_B} \gg 1$$

العلاقة بين $\alpha_{d.c}$ و $\beta_{d.c}$

$$I_E = I_C + I_B$$

$$\frac{I_E}{I_C} = \frac{I_C}{I_C} + \frac{I_B}{I_C}$$

بما ان

$$\alpha_{d.c} = \frac{I_C}{I_E} \quad \text{و} \quad \beta_{d.c} = \frac{I_C}{I_B}$$

$$\frac{1}{\alpha} = 1 + \frac{1}{\beta}$$

$$\frac{1}{\alpha} = \frac{\beta + 1}{\beta}$$

$$\alpha = \frac{\beta}{\beta + 1}$$

$$\beta = \alpha\,\beta + \alpha$$

$$\beta\,(1 - \alpha) = \alpha$$

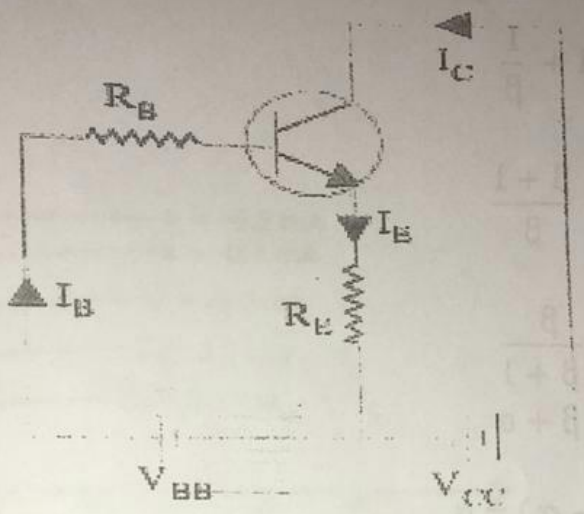
$$\beta = \frac{\alpha}{1 - \alpha}$$

خواص ربط الباعث المشترك

1- مقاومة الادخال و الاخراج متوسطة.
2- الكسب بالتيار عالي.
3- الكسب بالفولتية عالي.
4- وجود فرق بالطور بين اشارة الادخال و الاخراج مقداره 180 .

3- ربط الجامع المشترك Common Collector

ويسمى ايضا بتابع الباعث Emitter follower



يتضح ان هذه الدائرة مشابهة الى دائرة الباعث المشترك غير ان المقاومة تكون مربوطة مع طرف الباعث بدلا من الجامع لذلك يمكن استخدام منحنيات الباعث المشترك في تحليل هذه الدائرة.

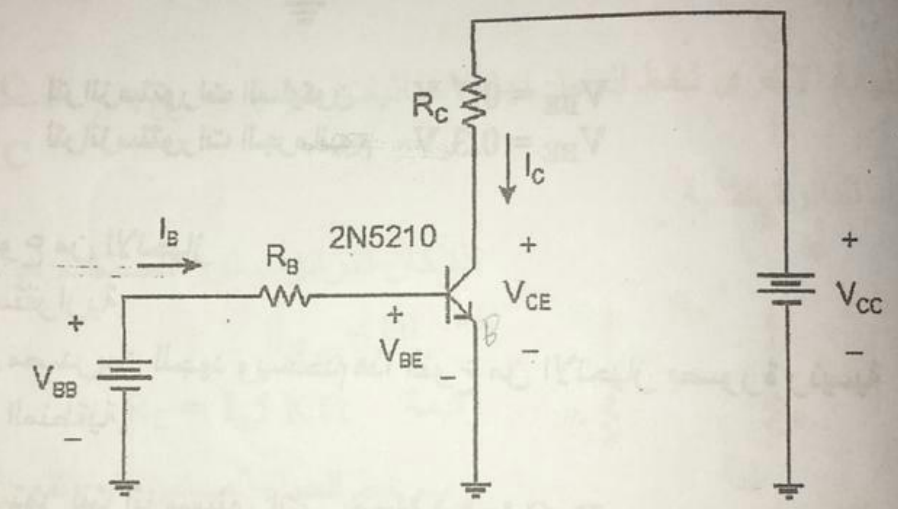
خواص ربط الجامع المشترك:-

1- مقاومة ادخال عالية ومقاومة اخراج قليلة.
2- كسب الفولتية قليل مقارب الى الواحد $V_{out} = V_{in}$
3- كسب التيار كبير.
4- عدم وجود فرق طور بين اشارة الادخال واشارة الاخراج.

دوائر انحياز الترانزستور
Transistor Biasing Circuits

لغرض استخدام الترانزستور كمكبر يجب استخدام شبكة من المقاومات بالاضافة الى مجهز فولتية مستمرة مناسب، تشكل فولتيات التجهيز والمقاومات مجموعة من فولتيات وتيارات مستمرة للترانزستور تدعى القيم الساكنة quiescent values والتي تحدد نقطة الاشتغال operating point او نقطة - Q للترانزستور Q-point .

1- انحياز القاعدة Base Bias



معادلة الادخال للدائرة

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE}$$

معادلة الاخراج

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

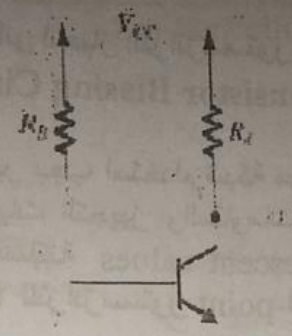
وعلى فرض ان

$$V_{CC} = V_{BB}$$

ينتج

$$V_{CC} = I_B R_B + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B}$$



لترانزستورات السليكون $V_{BE} = 0.7\ V$

لترانزستورات الجرمانيوم $V_{BE} = 0.3\ V$

مساوئ هذا النوع من الانحياز

1- قليل الاستقرارية.

2- استخدام مصدريين للجهد ويستخدم هذا النوع من الانحياز بصورة رئيسية بالدوائر المنطقية.

خط الحمل المستمر للترانزسسنورات D.C load line

خط الحمل load line هو المصطلح المستخدم للتعبير عن العلاقة بالرسم من قيم الفولتية والتيار التي تكزن ممكنة لمكون خاص او لدائرة معينة.

من معادلة الاخراج للدائرة السابقة

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

وعندما يكون $I_C = 0$

$$V_{CC} = 0 + V_{CE}$$

$$V_{CE} = V_{CC}$$

(القطع cut-off)

اذا احدى نهايتي خط الحمل لها الاحداثيات التالية ($I_C = 0$, $V_{CE} = V_{CC}$)
نقطة تقاطع خط الحمل مع المحور السيني هي V_{CC} .

عندما $V_{CE} = 0$ ، نحصل على

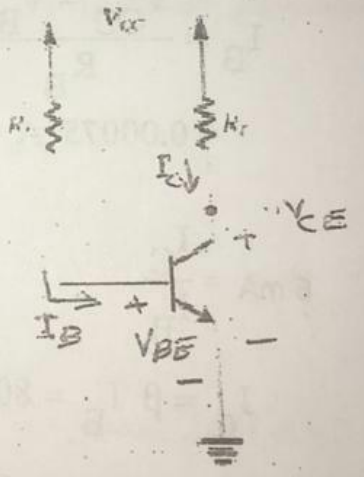
$$V_{CC} = I_C R_C + 0$$

$$I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$$

اذا النهاية الاخرى لخط الحمل لها الاحداثيات ($I_C = \frac{V_{CC}}{R_C}$, $V_{CE} = 0$)

مثال:- للدائرة التالية

اذا كان الترانزستور المستخدم هو 2N4401
له $\beta_{d.c} = 80$
وقيمة $R_C = 1.5\ K\Omega$ ،
ارسم خط الحمل المستمر. اين تقع النقطة Q
اذا كانت $R_B = 390\ K\ \Omega$



الحل:-

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$
$$30 = 1.5 \times 10^3 \times I_C + V_{CE}$$

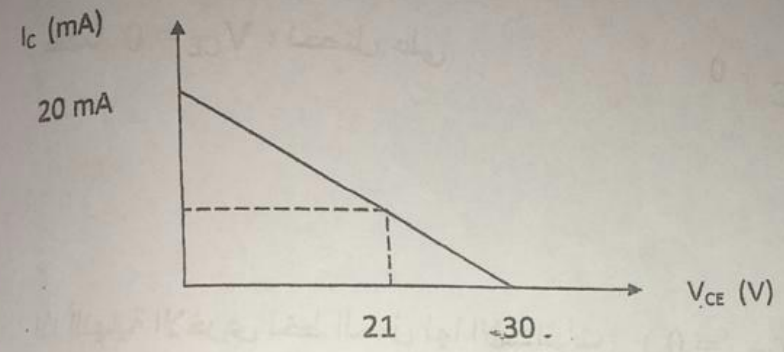
1- عندما $I_C = 0$ ، $V_{CE} = 30\ V$ cut-off

2- عندما $V_{CE} = 0$ ،

$$30 = 1.5 \times 10^3 \times I_C$$

saturation $I_C = \frac{30}{1.5 \times 10^3}$

خط الحمل المستمر



نحصل على النقطة Q كالاتي:-

$$I_B = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_B} = \frac{30 - 0.7}{390 \times 10^3} = 75.1 \times 10^{-6} = 75.1\ \mu A$$

$$= 0.00075\ A$$

تيار الجامع يحسب كالتالي:-

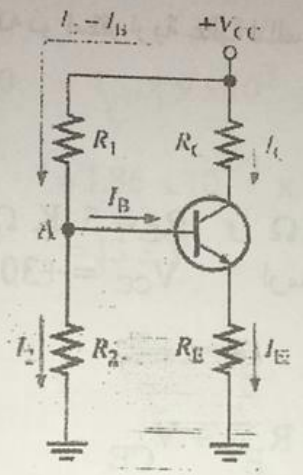
$$6\ mA = \frac{I_C}{I_B}$$

$$I_C = \beta\ I_B = 80 \times 75.1 \times 10^{-6} = 6\ mA$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C = 30 - 1.5 \times 10^3 \times 6 \times 10^{-3} = 21\ V$$

انحياز مقسم الجهد:-

يعتبر هذا النوع من الانحياز اكثر الانواع انتشارا في الدوائر الخطية المنفصلة وان تسمية مقسم الجهد جاءت من استخدام المقاومتين **R1** و **R2** وكما موضح في الشكل التالي:-



لحساب تيار الباعث I_E

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC}$$

$$V_2 = V_{BE} + I_E R_E$$

$$I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E}$$

لرسم خط الحمل المستمر

$$V_{CC} = I_C R_C + I_E R_E + V_{CE}$$

$$I_C = I_E$$

$$V_{CC} = I_C (R_C + R_E) + V_{CE}$$

عندما $I_C = 0$ فانه $V_{CE} = V_{CC}$ cutoff

عندما $V_{CE} = 0$ فانه

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E}$$

من مميزات هذا الانحياز بانه ذو استقرارية عالية لذلك يستخدم في دوائر التكبير.

مثال:-

في دائرة مقسم الجهد، اذا كان

$R_C = 4\ K\Omega$ و $R_E = 5\ K\Omega$ و $R_1 = 20\ K\Omega$ و Ω و

$R_2 = 10\ K$ و $V_{CC} = +30\ V$ ارسم خط الحمل المستمر واين تقع النقطة Q .

الحل:-

$$V_{CC} = I_C (R_C + R_E) + V_{CE}$$

$$30 = I_C (4 + 5) x10^3 + V_{CE}$$

$$30 = I_C \times 9\ x10^3 + V_{CE}$$

عندما $I_C = 0$ فانه $V_{CE(cutoff)} = V_{CC} = 30\ V$ .. cutoff

عندما $V_{CE} = 0$ فانه

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{30}{9 \times 10^3} = 3.33\ mA$$

لحساب نقطة Q

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{10}{10+20} \times 30 = 10\ V$$

$$I_E = \frac{V_2 - V_{BE}}{R_E} = \frac{10 - 0.7}{5 \times 10^3} = \frac{9.3}{5 \times 10^3} = 1.86 \text{ mA}$$

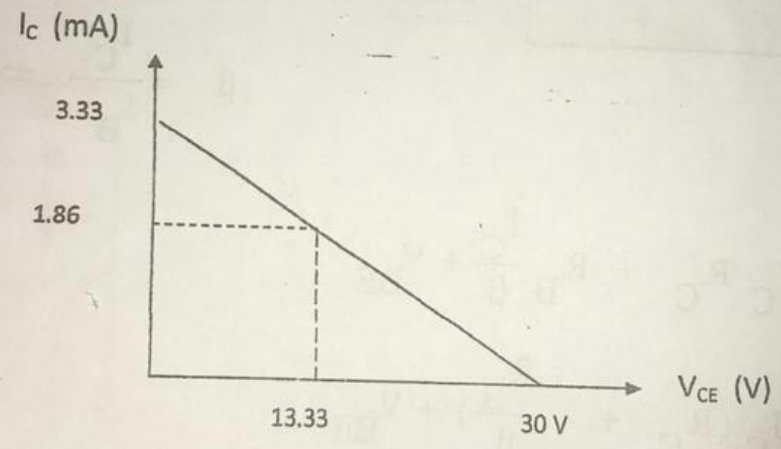
$$I_C \cong I_E = 1.86 \text{ mA}$$

اذا

$$30 = I_C \times 9 \times 10^3 + V_{CE}$$

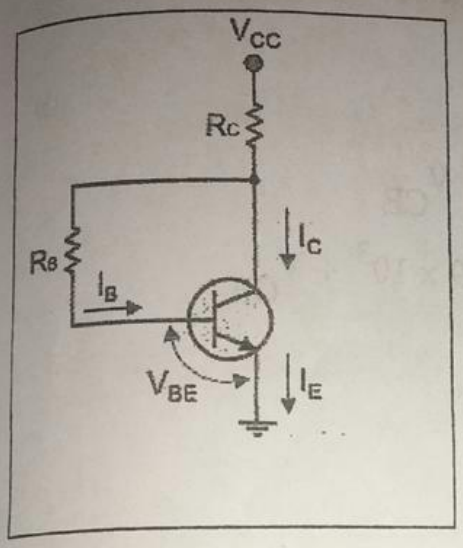
$$= 1.86 \times 10^{-3} \times 9 \times 10^3 + V_{CE}$$

$$V_{CE} = 13.3 \text{ V}$$



انحياز التغذية العكسية للجامع Collector – Feedback Bias

في هذا النوع من الانحياز يتم ربط مقاومة القاعدة بفولتية الجامع بدلا من ربطها بفولتية المصدر الثابت وهذا يؤدي الى تقليل β على منطقة عمل الترانزستور وكما موضح بالشكل.



$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE} \qquad (1)$$

ويمكن حساب I_C كما يلي:-

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_B = \frac{I_C}{\beta}$$

$$V_{CC} = I_C R_C + R_B \frac{I_C}{\beta} + V_{BE}$$

$$V_{CC} = I_C \left(R_C + \frac{R_B}{\beta}\right) + V_{BE}$$

$$I_C = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + \frac{R_B}{\beta}} \qquad (2)$$

يمكن رسم خط الحمل المستمر من المعادلة (1)

ولحساب نقطة العمل ، نحسب I_C من المعادلة (2) ثم بعد ذلك نحسب V_{CE} من المعادة (1).

مثال:- لدائرة التغذية العكسية للجامع اذا كان

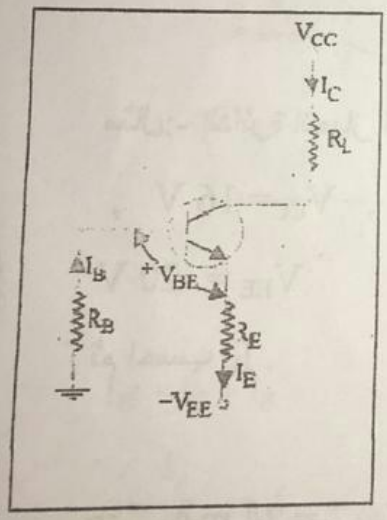
$R_B = 100\ K$, $R_C = 1\ K$, $\beta_{d.c} = 200$

$V_{CC} = 25V$

احسب نقطة Q (I_C , V_{CE}).

ج:- $V_{CE} = 8.8\ V$, $I_C = 16.2\ mA$

انحياز الباعث Emitter Bias



سميت هذه الدائرة بانحياز الباعث وذلك بسبب تحييز ثنائي الباعث بانحياز امامي بواسطة مجهز فولتية سالبة خلال المقاومة R_E وكما موضح بالشكل.

ويمكن حساب تيار الجامع I_E كما يلي:-

$$I_E = \frac{V_{EE}}{R_E} \cong I_C = I_E$$

لحساب $I_{C(sat)}$

$$V_{CC} + V_{EE} = I_C R_C + V_{CE} + R_E I_E$$

ولأن $I_C = I_E$

$$V_{CC} + V_{EE} = (R_C + R_E) I_C + V_{CE}$$

ولأن $V_{CE}=0$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} + V_{EE}}{R_C + R_E}$$

مثال:- لدائرة انحياز الباعث، احسب $I_{C(sat)}$ اذا كان

$R_C = 5\ K$, $R_B = 10\ K$, $R_E = 10\ K$, $V_{CC} = 16\ V$,

$V_{EE} = -20\ V$

ثم احسب I_E .

ج:- $I_E = 2\ mA$, $I_{C(sat)} = 24\ mA$

مثال:- للدائرة التالية، اذا كان

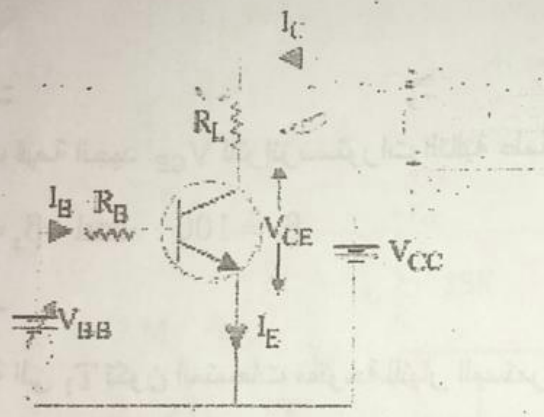
$R_C = 1\ K$, $R_B = 200\ K$, $R_L = 10\ K$, $V_{BB} = 10\ V$,

$V_{CC} = 20\ V$ ، احسب قيمة V_{CE} والتيارات المارة بالترانزستور علما بان

$\alpha = 0.99$

الحل:-

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE}$$



$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

$$= \frac{10 - 0.7.}{200 \times 10^3}$$

$I_B = 0{,}046$ mA

$I_E = I_C + I_B$

$\alpha = \frac{I_C}{I_E} \Rightarrow I_C = \alpha I_E$

$I_B = I_E - I_C$

$I_B = I_E - \alpha I_E = I_E (1-\alpha)$

$$I_E = \frac{I_B}{1-\alpha} = \frac{0.046}{1-0.99} = 4.6\,mA$$

$$I_C = 0.99 \times 4.6 = 4.55\ mA$$

من دائرة الاخراج

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

$$= 20 - 4.55 \times 10^{-3} \times 1 \times 10^{3} = 20 - 4.55 = 15.45\ V$$

مثال:-

احسب قيمة الجهد V_{CE} للترانزستورات التالية علما بان

$$\beta_1 = 100 \quad \text{and} \quad \beta_2 = 80$$

الحل:-

بالنسبة الى T_1 تكون المتسعات مفتوحة للتيار المستمر.

في دائرة الادخال:-

$$V_{BB} = I_B R_B + V_{BE}$$

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} = \frac{20 - 0.7}{2 \times 10^6} = 9.65\ mA$$

$$\beta = \frac{I_C}{I_B} \Rightarrow I_C = \beta I_B = 100 \times 9.65 \times 10^{-6} = 0.965\,mA$$

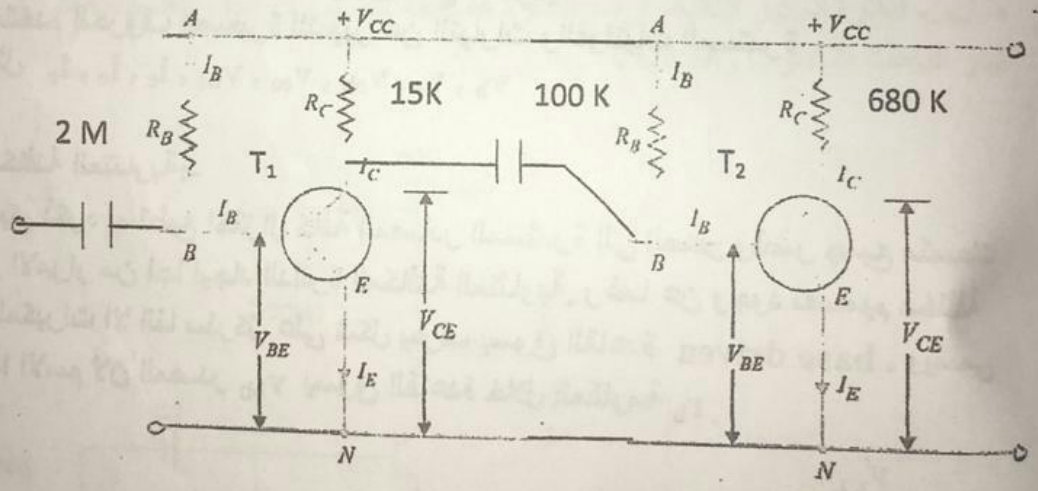
في دائرة الاخراج:-

$$V_{CC} = I_C R_C + V_{CE}$$

$$20 = 15x10^{3}\ x0.965x10^{-3} + V_{CE}$$

$$V_{CE} = 20 - 15x10^{3}\ x0.965x10^{-3} = 5.53\ V$$

و بنفس الطريقة الى T_2 .



مكبرات الاشارة الصغيرة

ان ابسط طريقة لتحليل عمل دوائر الترانزستور هي تجزئة التحليل الى قسمين وهما تحليل ac وتحليل dc وبعبارة اخرى يمكننا تحليل دوائر الترانزستو بتطبيق نظرية التراكب superposition. حيث نأخذ جميع المصادر المستمرة في نفس الوقت ونحسب التيارات والفولتيات المستمرة وبعد ذلك نأخذ جميع المصادر المتناوبة في نفس الوقت وتجمع التيارات والفولتيات المستمرة والمتناوبة جبريا نحصل على التيارات والفولتيات الكلية.

الدائرة المكافئة المستمرة:-

1- تختزل كافة المصادر المتناوبة الى الصفر.
2- نقوم بفتح كافة المتسعات الموجودة في الدائرة.
3- نستخدم الحروف الكبيرة للتعبير عن التيارات والفولتيات المستمرة
مثل $V_B , V_E , V_{CB} , V_{CE} , V_{BE} , I_C , I_E , I_E$

الدائرة المكافئة المتناوبة:-

1- تختزل كافة المصادر المستمرة الى الصفر.
2- نقوم بقصر كافة المتسعات الموجودة في الدائرة.
3- نستخدم الحروف الصغيرة للتعبير عن التيارات والفولتيات المستمرة
مثل $v_b , v_e , v_{cb} , v_{ce} , v_{be} , i_c , i_e , i_e$

الدائرة المكافئة المتناوبة:-

كما سبق ذكره نستطيع اختزال كافة المصادر المستمرة الى الصفر وقصر جميع متسعات الاقتران و الامرار من اجا ايجاد الدائرة المكافئة المتناوبة. رغما عن وجود تصاميم مختلفة وعديدية للمكبرات الا اننا سنركز على شكل يعرف بسوق القاعدة base driven . ويسمى المكبر بهذا الاسم لان المصدر v_{bb} يسوق القاعدة خلال المقاومة r_b.

$$i_e = \frac{v'_{bb}}{r_e + r'_e + \frac{r_b}{\beta}}$$

r'_e تسمى مقاومة ثنائي الباعث المتناوبة وتحسب عادة باستخدام

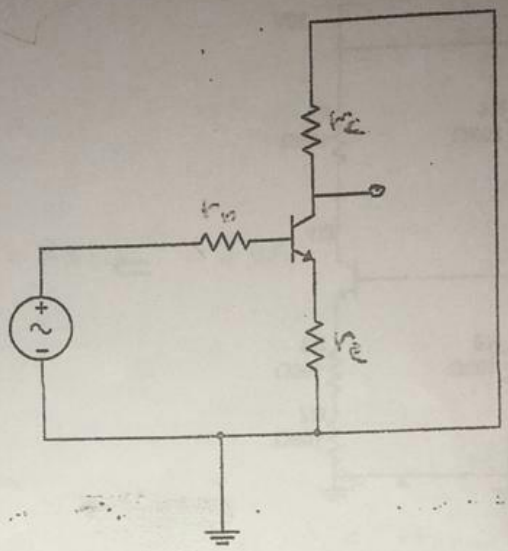
$$r'_e = \frac{25\,mV}{I_E}$$

I_E هو تيار الباعث المستمر و يحسب عادة من حساب نقطة العمل للدائرة المكافئة المستمرة.

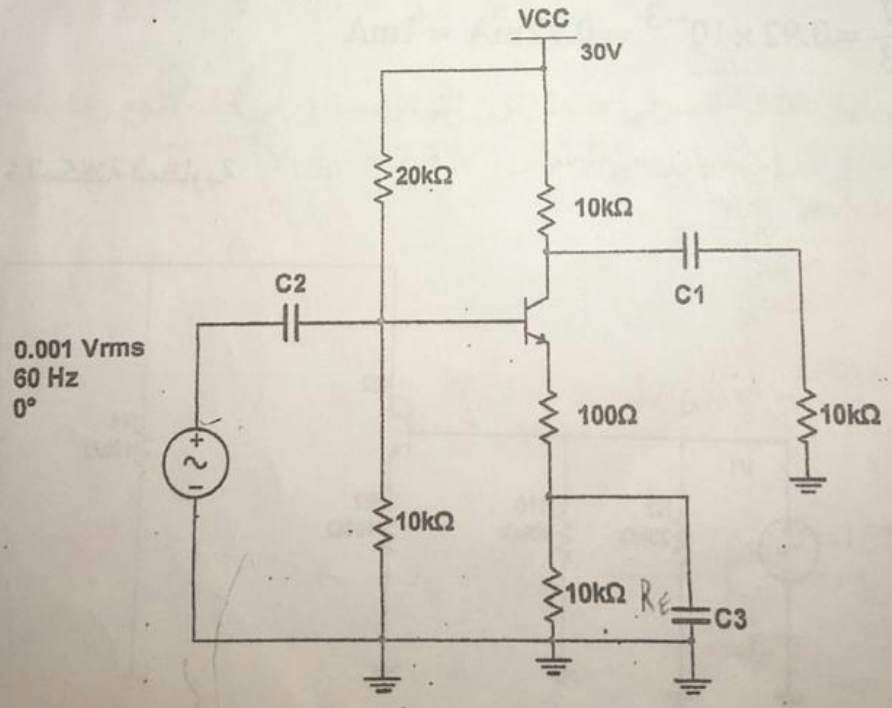
$v_c = i_c r_c = i_e r_e$

$v_e = i_e r_e$

$Z_{in} = \beta(r_e + r_E)$

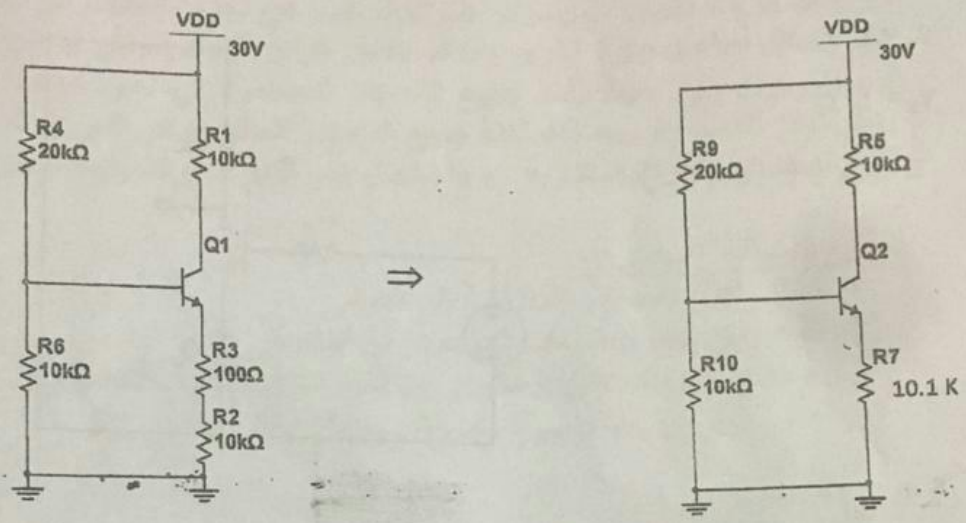


مثال :- لدائرة المكبر التالية، ارسم الدائرة المكافئة المستمرة والدائرة المكافئة المتناوبة واحسب تيار الباعث المتناوب والفولتيات V_e و V_c .



الدائرة المكافئة المستمرة

2N:

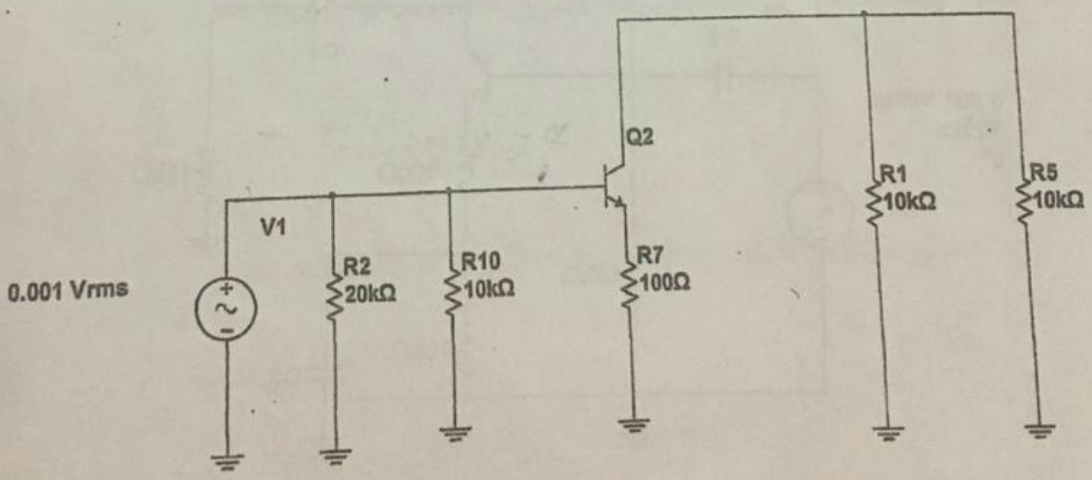


$$V_2 = \frac{10}{30} x 30 = 10$$

$$V_2 = 0.7 + 10.1 \times 10^3 \times I_E$$

$$I_E = \frac{10 - 0.7}{10 \times 10^3} = 0.92 \times 10^{-3} = 0.92\,mA \approx 1mA$$

الدائرة المكافئة المتناوبة



$$i_e = \frac{v'_{bb}}{r_e + r'_e + \frac{r_b}{\beta}}$$

$$r'_e = \frac{25\,mV}{I_E} = \frac{25}{1} = 25\ \Omega$$

$$i_e = \frac{0.001}{100 + 25 + \frac{0}{\beta}} = \frac{0.001}{125} = 8 \times 10^{-6} = 8\ \mu A$$

$$v_c = i_e\ r_c$$

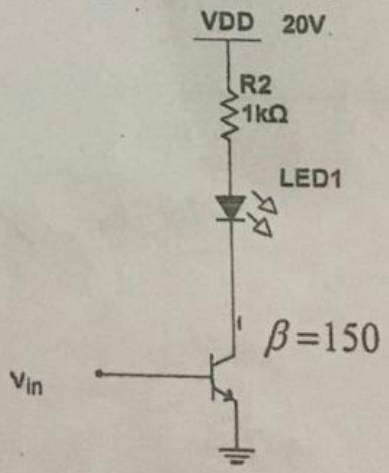
$$r_c = \frac{10 \times 10}{10 + 10} = 5\ K\Omega$$

$$v_c = 8 \times 10^{-6} \times 5 \times 10^{3} = 40 \times 10^{-3}\ V$$

$$v_e = i_e \times r_e$$
$$= 8 \times 10^{-6} \times 100 = 0.8\ mV$$

مثال:- الباحث

للدائرة التالية، احسب تيار الثنائي الضوئي عندما يكون الترانزستور في حالة تشبع وما مقدار اقل V_{in} تعمل على تشبع الترانزستور مع العلم ان $V_{LED} = 2.3\ V$.



$$V_{CC} = R_C I_C + V_{LED} + V_{CE}$$

$$V_{CE} = 0$$

$$20 = 1 \times 10^3 \times I_C + 2.3$$

$$I_C = \frac{20 - 2.3}{1000} = 17.7 \text{ mA}$$

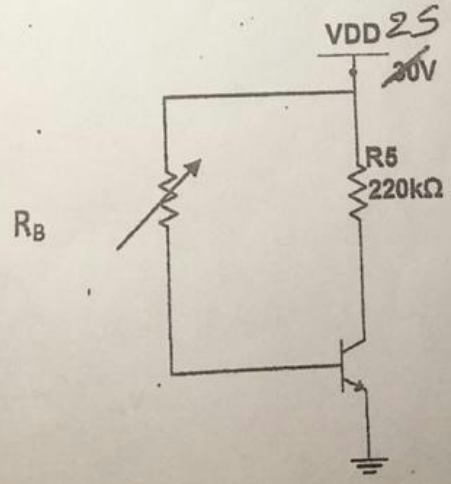
ويمثل تيار الثنائي الضوئي LED .

$$I_{\beta(sat)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta} = \frac{17.7 \times 10^{-3}}{150} = 0.118 \text{ mA}$$

$$V_{in} = R_B \times I_B + V_{BE} = 47 \times 10^3 \times 0.118 \times 10^{-3} + 0.7$$

$$= 6.25 \text{ V}$$

مثال:- للدائرة التالية، ترانزستر سليكون فيه β_{dc} مقدارها 80 و $V_{CE(sat)} = 0.1$ V
وقد ضبطت R_B للحصول على التشبع. ما قيمة $I_{C(sat)}$ وما قيمة R_B .



$$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{25}{220} = 114 \text{ mA}$$

$$I_{\beta(sat)} = \frac{I_{C(sat)}}{\beta_{dc}} = \frac{114}{80} = 1.43 \text{ mA}$$

حساب R_B

$$V_{CC} = R_B I_B + V_{BE}$$

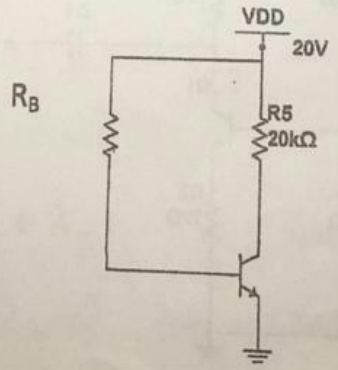
$$25 = R_B \times 1.43 \times 10^{-3} + 0.7$$

$$R_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{I_{B(sat)}} = \frac{25 - 0.7}{1.43 \times 10^{-3}} = 17 \text{ K}\Omega$$

القيمة المضبوطة ل $I_{C(sat)}$

$$I_{C(sat)} = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{R_C}$$

مثال:- ارسم خط الحمل المستمر للدائرة المبينة بالشكل



$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$

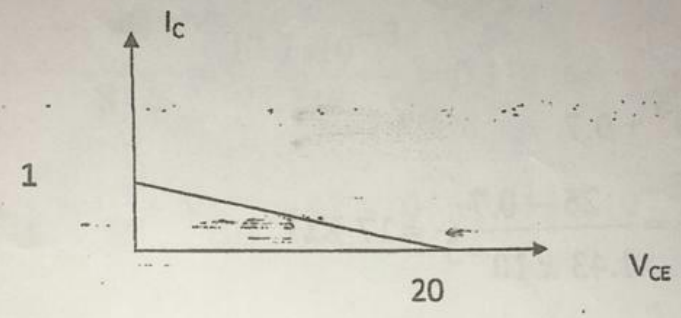
$20 = 20 \times 10^3 \times I_C + V_{CE}$

$I_C = 0$

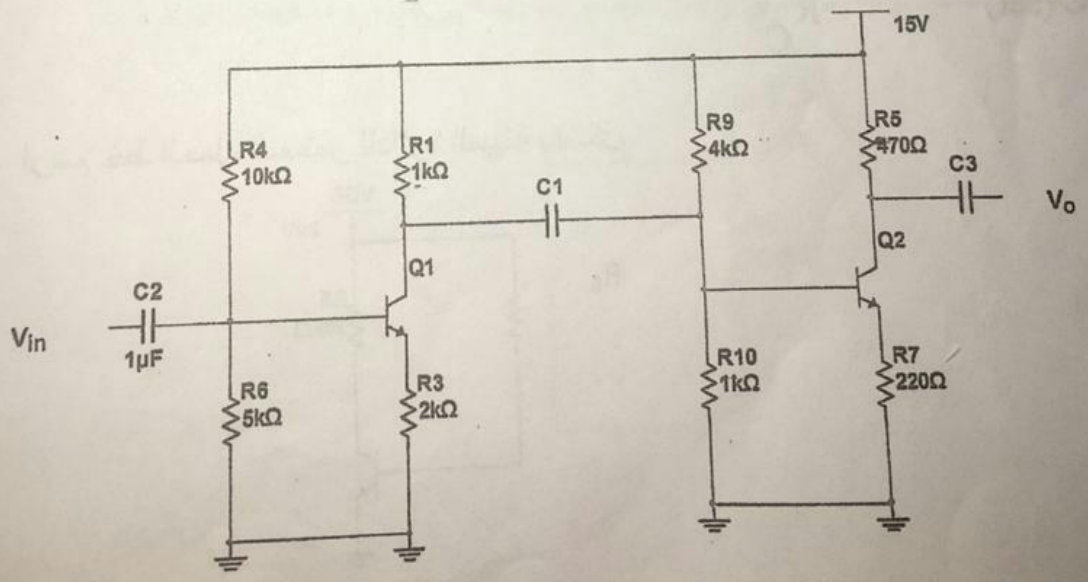
$V_{CE(cut\text{-}off)} = 20\ V$

$V_{CE} = 0$

$$I_{CE} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{20}{20 \times 10^3} = 1mA$$



مثال:- للدائرة التالية، احسب I_C و V_{CE} لكل مرحلة.



المرحلة الاولى

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{5}{15} \times 15 = 5\,V$$

$$V_2 = V_{BE} + R_E I_E$$

$$5 = 0.7 + 2 \times 10^3 \times I_E$$

$$I_{E_1} = \frac{5 - 0.7}{2 \times 10^3} = \frac{4.3}{2 \times 10^3} \times = 2.15\ mA$$

$$V_{CE_1} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

$$= 15 - 2.15 \times 10^{-3} (2+1) \times 10^3 = 8.55\ V$$

المرحلة الثانية

$$V_2 = \frac{1}{1+4} \times 15 = 3\,V$$

$$3 = 0.7 + 220 \times I_E$$

$$I_{E2} = \frac{3 - 0.7}{220} = \frac{2.3}{220} = 10.5\ mA = I_{C2}$$

$$V_{CE_2} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

$$= 15 - 10.5 \times 10^{-3} \times 10^3 \times 690 = 7.76\,V$$

$V_{CC} = R_C I_C + V_{CE}$

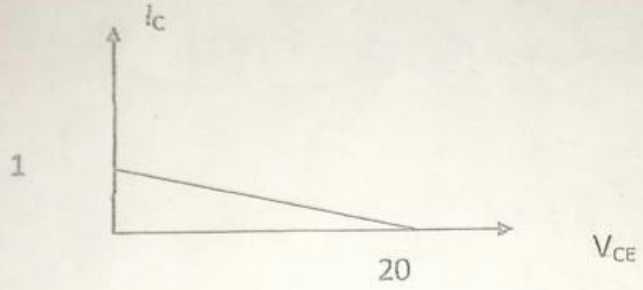
$20 = 20 \times 10^3 \times I_C + V_{CE}$

$I_C = 0$

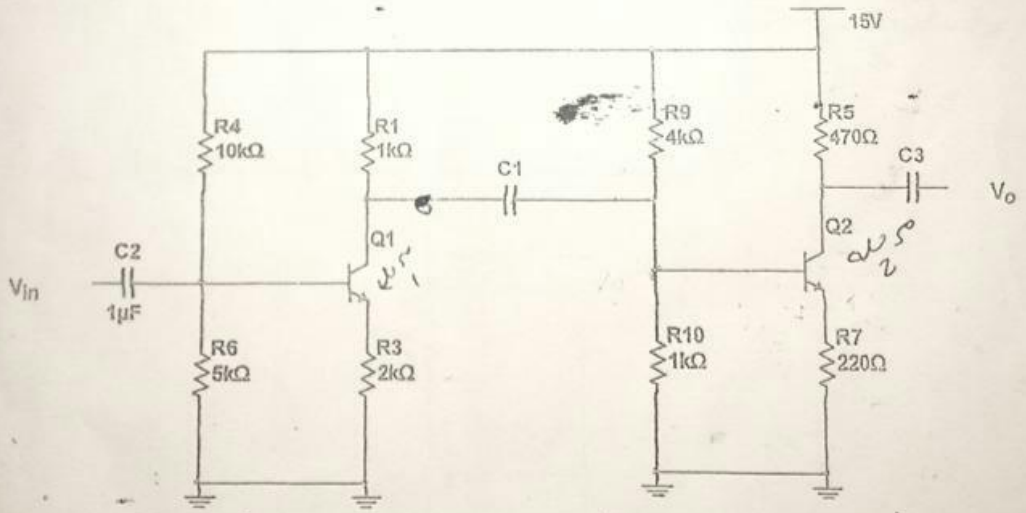
$V_{CE(cut\text{-}off)} = 20\ V$

$V_{CE} = 0$

$$I_{CE} = \frac{V_{CC}}{R_C} = \frac{20}{20 \times 10^3} = 1mA$$



مثال:- للدائرة التالية، احسب I_C و V_{CE} لكل مرحلة.



المرحلة الاولى

$$V_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} V_{CC} = \frac{5}{15} \times 15 = 5\,V$$

$$V_2 = V_{BE} + R_E I_E$$

$$5 = 0.7 + 2 \times 10^3 \times I_E$$

$$I_{E_1} = \frac{5 - 0.7}{2 \times 10^3} = \frac{4.3}{2 \times 10^3} \times = 2.15\ mA$$

$$V_{CE_1} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

$$= 15 - 2.15 \times 10^{-3} (2+1) \times 10^3 = 8.55\ V$$

المرحلة الثانية

$$V_2 = \frac{1}{1+4} \times 15 = 3V$$

$$3 = 0.7 + 220 \times I_E$$

$$I_{E2} = \frac{3 - 0.7}{220} = \frac{2.3}{220} = 10.5\ mA = I_{C2}$$

$$V_{CE2} = V_{CC} - I_C (R_C + R_E)$$

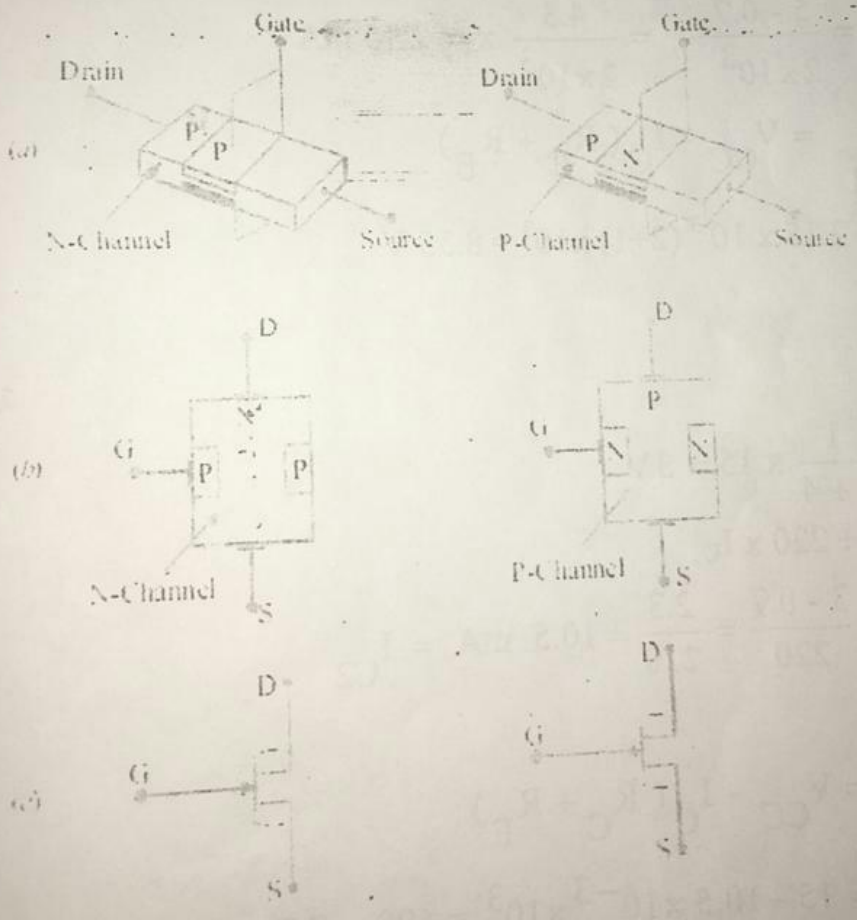
$$= 15 - 10.5 \times 10^{-3} \times 10^3 \times 690 = 7.76\,V$$

ترانزسستور تأثير المجال الوصلي
Junction Field Effect Transistor (JFET)

ترانزسستور المجال الوصلي JFET هو ترانزسستور احادي القطبية unipolar فهو يحتاج الى حاملات الاغلبية فقط لكي يعمل.

مناطق ترانزسستور المجال الوصلي

يبين الشكل جزءا من JFET وتسمى النهاية السفلى بالمنبع source (المصدر) كما تسمى النهاية العليا بالمصرف drain . وقطعة شبه الموصل بين المنبع و المصرف هي القناة channel . وبما ان المادة المستخدمة هي n ، تكون حاملات الاغلبية هي الكترونات حزمة التوصيل. واعتمادا على فولتية المصدر V_{DD} وعلى مقاومة القناة نحصل على مقدار معين من التيار.

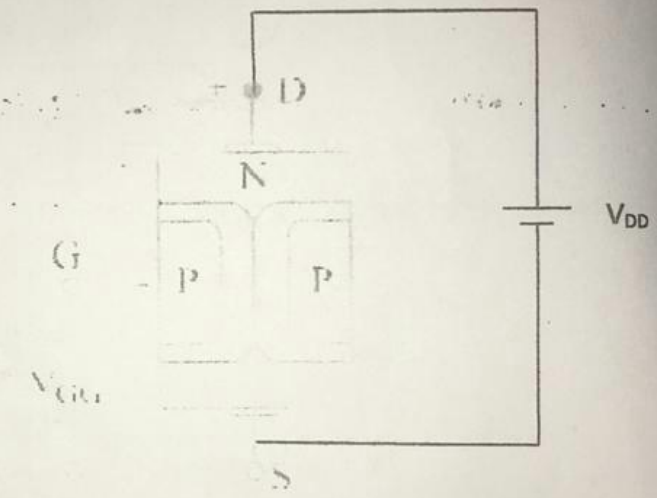


تحييز ترانزسستور المجال الوصلي

لغرض تحييز JFET ذو القناة n هي تسليط فولتية سالبة بين البوابة والمنبع وتحييز هذه البوابة عكسيا. وبما ان البوابة منحازة عكسيا يسري تيار صغير جدا بحيث يمكن اهماله، كتقريب اول فان تيار البوابة يساوي صفر.

الاسم تاثير المجال ينسب الى طبقتي الاستنزاف حول كل وصلة pn .

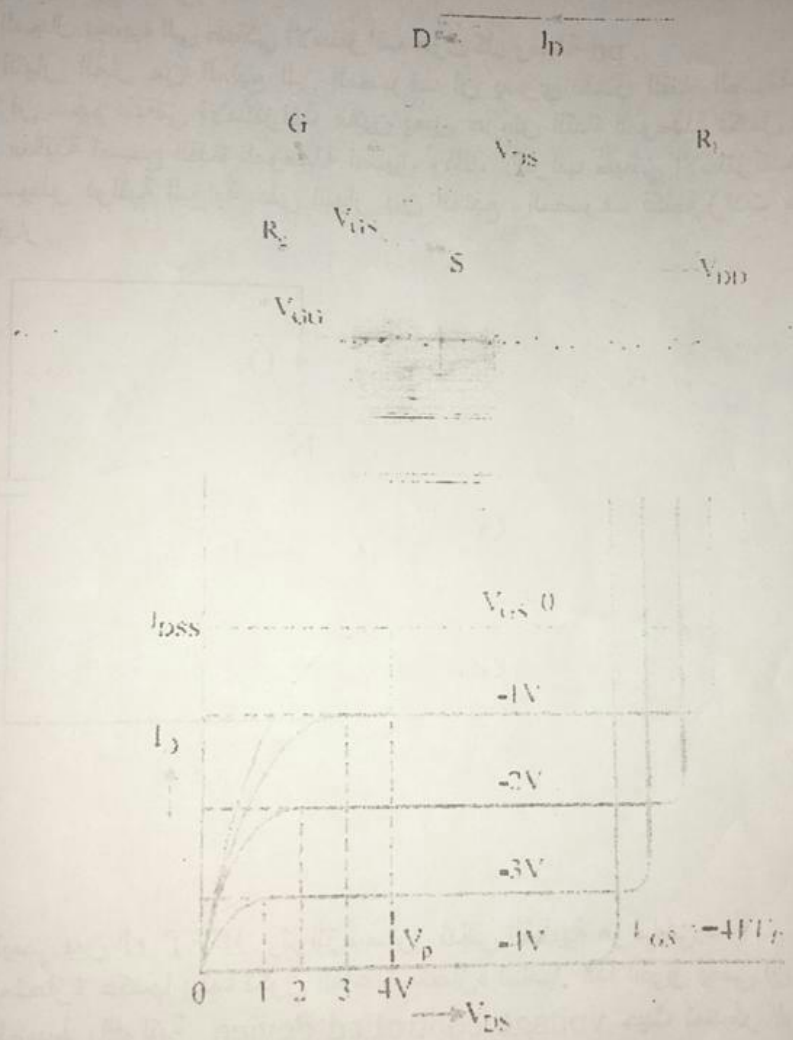
يجب على التيار المار من المنبع الى المصرف ان يسري خلال القناة الضيقة بين طبقتي الاستنزاف، ان حجم طبقتي الاستنزاف هاتين يعين عرض القناة الموصلة فكلما كانت فولتية البوابة اكثر سالبية تصبح القناة الموصلة اضيق وذلك لاقتراب طبقتي الاستنزاف الواحدة من الاخرى, ونسيطر فولتية البوابة على التيار بين المنبع والمصرف فكلما زادت سالبية فولتية البوابة قل التيار.



ان الفرق الرئيسي بين ال JFET وترانزسستور ثنائي القطبية هو مايلي:-

تكون البوابة منحازة عكسيا بينما تكون القاعدة منحازة اماميا. هذا الفرق يعني ان JFET يعمل مثل مكون منضبط بالفولتية voltage controlled device حيث تسيطر فولتية الاخراج لوحدها على تيار الاخراج وهذا يختلف عن ترانزسستور ثنائي القطبية حيث يسطر تيار الادخال على تيار الاخراج. أي ان JFET يفضل في التطبيقات التي نحتاج فبها الى مقاومة ادخال عالية وذلك لان مقاومة الادخال الى JFET تقترب من مالانهاية (هي تساوي رقما كبيرا من ميكا اوم).

منحنيات JFET
وتمثل العلاقة بين تيار المصرف و فولتية المصرف



V_P (فولتية الضيق) :- هي فولتية المصرف التي يكون فيها تيار المصرف فوقها ثابت تقريبا.
I_{DSS} ويمثل تيار المصرف الى المنبع عندما تكون البوابة في حالة قصر.

$V_{GS(off)}$:- وهي فولتية القطع بين البوابة والمصرف والتي يقل فيها تيار المصرف الى الصفر تقريبا.

يكون مدى V_{GS} الاعتيادي

$$V_{GS(off)} < V_{GS} < 0$$

$$0 < I_D < I_{DSS}$$

g_m تسمى المواصلة التبادلية transconductance وتقاس بوحدة سيمنس Siemens

$$g_m = \frac{\Delta I_D}{\Delta V_{GS}}$$

الانحياز عند النقطة الوسطى (افضل نقطة تشغيل)

$$V_{GS(Off)} = \frac{-2\, I_{DSS}}{g_{mo}}$$

$$V_{GS} = \frac{V_{GS(off)}}{4}$$

$$g_m = g_{mo}\left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right]$$

$$R_s = \frac{1}{g_{mo}}$$

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{2}$$

g_{mo} هي المواصلة التبادلية بين g_m مقاسة عند $V_{GS} = 0$.

مثال:- لترانزستور تاثير المحال الوصلي فيه $I_{DSS} = 10\ mA$ و $g_{mo} = 4000\ us$ ، احسب $V_{GS(off)}$ وكذلك احسب g_m لانحياز عند النقطة الوسطى.

$$V_{GS(Off)} = \frac{-2\ I_{DSS}}{g_{mo}} = \frac{-2 \times 10 \times 10^{-3}}{4000 \times 10^{-6}} = -5\,V$$

$$V_{GS} = \frac{V_{GS(off)}}{4} = \frac{-5}{4} = -1.25\ V$$

$$g_m = g_{mo}\left[1 - \frac{V_{GS}}{V_{GS(off)}}\right] = 4000 \times 10^{-6}\left[1 - \frac{1.25}{5}\right] = 3000\,us$$

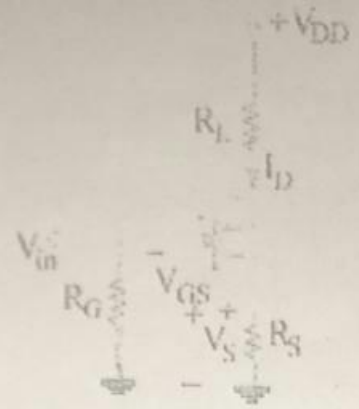
<u>الانحياز الذاتي:-</u>

وهو اكثر الطرق شيوعا في تحييز JFET فيه يسري تيار المصرف الى الاسفل خلال R_D و R_S منتجا فولتية بين المصرف و المنبع مقدارها

$$V_{DS} = V_{DD} - I_D\,(R_D + R_S)$$

والفولتية عبر مقاومة المنبع هي

$$V_S = I_D\ R_S$$



ولان تيار البوابة صغير جدا بحيث يمكن اهماله، يكون طرف البوابة عند ارضي مستمر لذلك

$V_{GS} \cong 0$

لذا الفرق في الجهد بين البوابة و المنبع هو

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - V_S = 0 - I_D R_S = - I_D R_S$$

لانحياز عند نقطة وسطى

$$R_S = \frac{1}{g_{mo}}$$

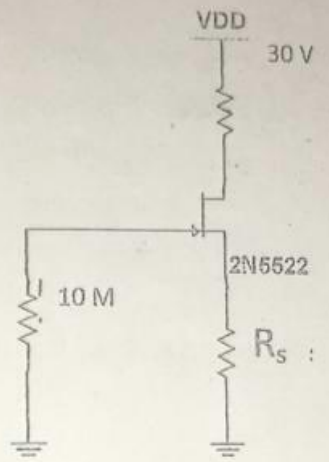
مثال:- للدائرة المبينة بالشكل، اذا كان $g_{mo} = 5000\ us$ و $I_{DSS} = 5\ mA$ ، ماهي قيمة R_s لانحياز عند نقطة وسطى وما قيمة V_{GS} و V_{DS} .

$$R_s = \frac{1}{g_{mo}} = \frac{1}{5000 x 10^{-6}} = 200\ \Omega$$

$I_D = 2.5\ mA$ $I_D = I_{DSS}/2$

$V_{GS} = - I_{DS} R_s = - 2.5 \times 10^{-3} \times 200 = -0.5$ V

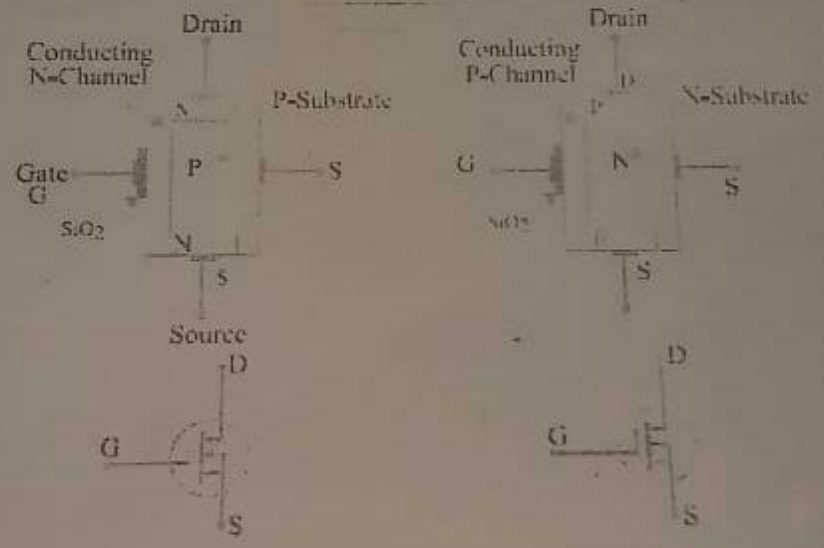
$V_{DS} = V_{DD} - I_D (R_D + R_S)$
$= 30 - 2.5 \times 10^{-3} (5000 + 200) = 17$ V



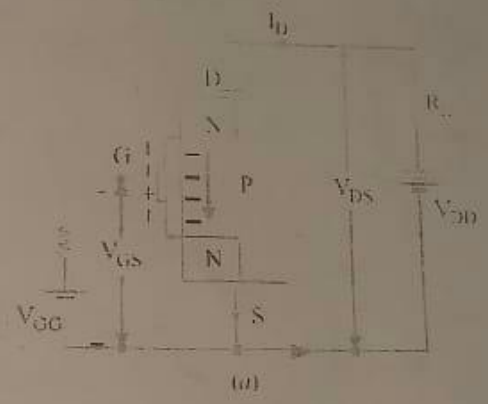
ترانزستور المجال ذو الاوكسيد المعدني MOSFET

يمتلك ترانزستور المجال ذو الاوكسيد المعدني Metal Oxide Semiconductor FET او MOSFET منبعا و بوابة ومصرف. حيث تسيطر فولتية البوابة على تيار المصرف. الفرق الرئيسي بين FET و MOSFET هو اننا نستطيع تسليط فولتية بوابة موجبة مع بقاءتيار البوابة صفرا.

لو نظرنا الى اجزاء MOSFET هناك منطقة للمنبع والمصرف زان فولتية موجبة مسلطة على طرفي المصرف والمنبع تجبر الكترونات حزمة التوصيل على السريان من المنبع الى المصرف خلاف JFET . يمتلك MOSFET منطقة p مفردة وتسمى هذه المنطقة بطبقة الاساس substrate . تضيق منطقة ال p هذه القناة بين المنبع والمصرف بحيث يبقى ممر ضيق فقط عند الجهة اليسى ويجب على الالكترونات المارة من المنبع الى المصرف ان تمر خلال القناة الضيقة هذه.



هذا النوع يدعىMOSFET ذو البوابة المعزولة.
بما ان البوابة معزولة عن القناة نستطيع تسليط اما فولتية موجبة او سالبة على البوابة. فكلما زادت سالبية فولتية البوابة زاد استنزاف الكترونات حزمة التوصيل في القناة n ونستطيع قطع التيار بين المنبع والمصرف لذلك مع فولتية سالبة يكون اداء MOSFET شبيها لاداء JFET



٩٥